

© Н.А. Щудло, М.М. Щудло, 1998

**Метод дозированного растяжения тканей  
в проблеме возмещения дефектов нервных стволов  
(результаты экспериментальных исследований, нерешенные  
проблемы и перспективы)**

**Н.А. Щудло, М.М. Щудло**

***A method of graduated tissue tension  
in the problem of substitution of nervous trunk defects  
(Results of experimental studies, unsolved problems and  
prospects)***

**N.A. Chtchoudlo, M.M. Chtchoudlo**

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган  
(Генеральный директор — академик РАМТН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ В.И. Шевцов)

В статье рассматриваются экспериментально обоснованные варианты применения метода дозированного растяжения тканей для компенсации сегментарных дефектов нервных стволов.

Ключевые слова: нерв, сегментарный дефект, дозированное растяжение.

Experimentally substantiated variants for use of the method of graduated tissue tension for compensation of segmental defects of nervous trunks are considered in the work.

Keywords: nerve, segmental defect, graduated tension.

Для развития методов лечения травм нервов несомненно оправдан поиск механизмов воздействия на клеточные и молекулярные факторы регенерации, направленных, в частности [1], на замедление денервационных изменений органов-мишеней, фиброзного перерождения проксимального и дистального отрезков нерва, ускорение регенераторного и коллатерального спраутинга и ремиелинизации. Однако следует признать, что эффективность факторов роста нервов и других известных эндогенных олигопептидов с нейротрофическими свойствами может проявиться лишь в тех случаях, когда не нарушена при травме или восстановлена хирургическим путем анатомическая непрерывность периневрия [13]. Последнее совершенно неосуществимо при выполнении эпинеурального шва в условиях натяжения при больших диастазах и сегментарных дефектах [8].

Давно известные приёмы - фиксация суставов в «вынужденном» положении, широкая мобилизация и перемещение нерва в новое ложе - позволяют сблизить его концы даже при диастазах свыше 10 см [6], но выполненный в этих условиях шов не обеспечивает полезной регенерации. Многих таких пациентов оперировали

повторно и обнаруживали не только несостоятельность швов, но и фиброзное перерождение мобилизованных участков нерва вследствие ишемического некроза [14, 15]. В этой связи по рекомендациям НИИ нейрохирургии им. А.Л.Поленова (1991), протяжённость мобилизации нерва не должна превышать 5 см, одномоментное растяжение - 6% мобилизационной длины, поэтому шов конец в конец при диастазах более 3 см нежелателен, а свыше 6 см - недопустим. При дефектах такого размера метод выбора - аутопластика с применением микрохирургической техники - также даёт высокий процент неудовлетворительных результатов [2, 3] и нередко вызывает ущерб донорской области [6].

И.Г. Гришин [7], анализируя результаты пластических операций на нерве, пришёл к выводу, что следует искать новые способы шва конец в конец, подобные методике А.М.Волковой [5] - имеется в виду вытяжение проксимальной культи нерва лигатурой за невром. Известно предположение Н.Н. Бурденко (1942), что постепенное растяжение нерва обеспечивает его истинное удлинение за счёт гипертрофии, не вызывая необратимых нарушений структуры и функции. Оно косвенно подтверждено исследованиями

нервно-мышечного аппарата конечности при дистракционном остеосинтезе. На основе метода Илизарова с 1979 года в РНЦ «ВТО» была начата разработка новых технических решений для лечения повреждений нервных стволов, которые можно классифицировать на три основные группы:

1. удлинение нерва после шва при дозированном изменении положения в суставах (1а) или при коррекции укорочения (1б), либо угловой деформации (1в), моделированных для устранения натяжения при выполнении нейроррафии;

2. удлинение поврежденного нерва дозированной продольной тракцией за концы с целью выполнения шва без натяжения;

3. создание запаса длины анатомически непрерывного нерва боковой тракцией.

**1. Удлинение нерва после шва.** Прототипом способа 1а является давно известный метод этапных гипсовых лонгет, который применяется до сих пор, несмотря на то, что, как уже говорилось выше, результаты его печально известны разным поколениям хирургов. Общий прием – начало удлинения нерва не ранее 3 недель после нейроррафии – направлен на предотвращение прорезывания швов и гипертрофии рубцовой ткани в диастазе между концами нерва в условиях растяжения. Отличия разработанной в РНЦ «ВТО» методики от прототипа – в нескольких пунктах. Фиксация сустава до шва аппаратом для чрескостного остеосинтеза с шарнирными устройствами, в отличие от гипсовой лонгеты, предотвращает неконтролируемые движения, необходимые перемещения позволяет осуществлять плавно и на строго дозируемую величину и при этом дает возможность ухаживать за раной. Применение специальных измерений и формулы для расчета режима удлинения нерва после шва позволяет избежать тракционных повреждений и, в то же время, оптимизировать условия регенерации нервных волокон; лечебная гимнастика по специально разработанной программе на протяжении всего периода тракции с постепенным увеличением объема движений профилактирует осложнения, связанные с длительной иммобилизацией сустава. При клинической апробации этой методики выявлены более высокие показатели функционального восстановления конечности, чем при применении этапных гипсовых лонгет [10]. При осколь-

чатых переломах и последствиях травм (замедленном сращении перелома, фиксированного интрамедуллярным гвоздем или псевдоартрозе) оказалось рациональным сочетание способа 1а с временным укорочением кости [9]. Если дефект нерва был возмещен за счет временного укорочения сегмента конечности, то за 4-6 дней до начала дистракции первичное костное сращение нарушают угловым смещением отломков в направлении от поврежденного нерва. За время преддистракционного периода срастаются оболочки нерва, и в дистальный отрезок успевает врасти достаточно большое количество регенерирующих аксонов, что обеспечивает полезную регенерацию нерва.

Эксперименты, проведенные в течение последних лет [11], свидетельствуют, что если по специальной методике выполнена микрохирургическая коаптация основных пучков нервных волокон и восстановлен периневрий, то дистракцию можно начинать и раньше, исключая тем самым необходимость дополнительного нарушения целостности кости (рис. 1).

Однако вопрос об оптимальном режиме восстановления длины конечности при компенсации дефекта нерва и кости нельзя считать решенным по нескольким причинам. Прежде всего не изучены особенности формирования костного дистракционного регенерата в условиях переходящей денервации конечности, особенности регенерации нерва при разных вариантах расположения зоны шва относительно уровня остеотомии и связанный с этим вопрос о распределении растягивающих усилий в нервах при дистракции сегмента конечности. Известные из литературы эксперименты со швами-метками, как правило, приводят авторов к выводу, что нерв растягивается по всей длине [16]. Наши наблюдения показали, что если зона шва нерва находится на уровне остеотомии, то сглаживание извитости аксонов (рис. 2), характерной для седалищного нерва на уровне средней трети бедра, выявляется на относительно небольшом участке, причём не на уровне швов, а в 2-3 мм проксимальнее и дистальнее. Это заставляет предположить, что располагающиеся в мягких тканях лигатурные узлы при удлинении сегмента конечности могут создавать «якорный» эффект, – соответственно, интерпретировать результаты экспериментов со швами-метками следует осторожнее.

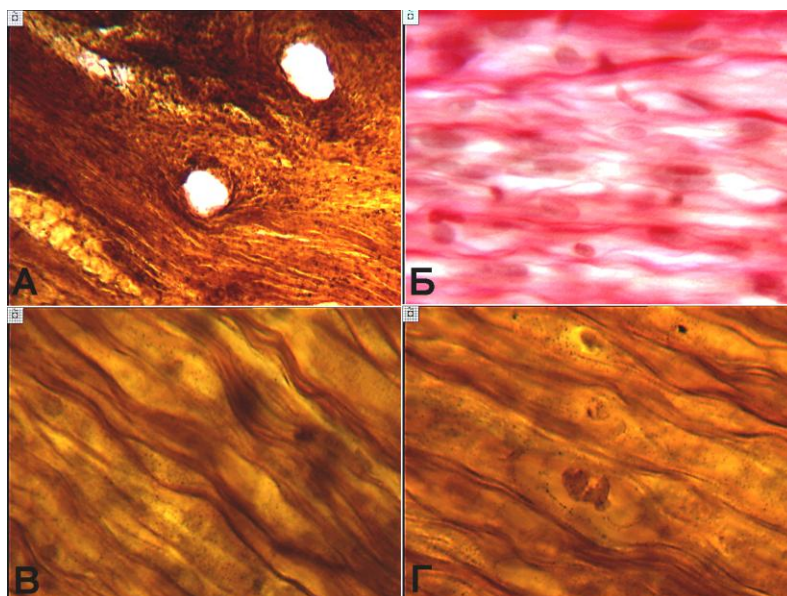
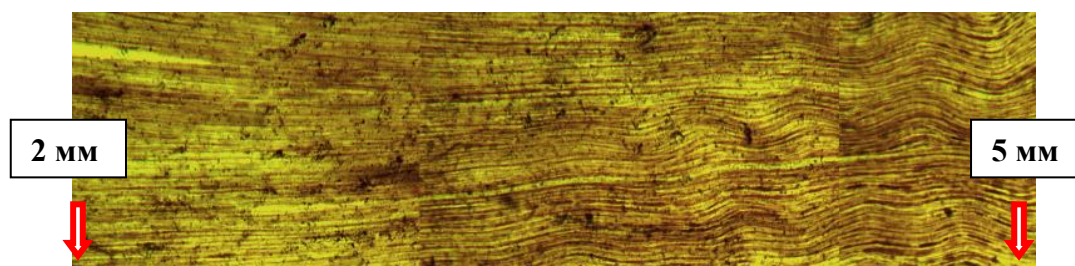


Рис. 1. Регенерации нерва после шва в условиях дозированной дистракции сегмента конечности.

1 месяц после нейрорафии. Дистракция 21 день по 0,5 мм в сутки за 2 приема.

**А** - лигатурные каналы в эпи-периневрии без признаков прорезывания швов. Импрегнация серебром. Об.-2,5х, ок.-15х. **Б** - эндоневральный collagen и продольно ориентированные леммоцитарные тяжи на уровне швов. Окраска по ван-Гизону. Об. - 40х, ок. - 15х. **В** - регенерировавшие аксоны на уровне швов. Импрегнация серебром. Об. - 40х, ок. - 15х. **Г** - невротизация бюнгнеровых лент в дистальном отрезке нерва. Импрегнация серебром. Об. - 40х, ок. - 15х.



#### ПРОКСИМАЛЬНЕЕ УРОВНЯ ШВОВ И ОСТЕОТОМИИ

Рис. 2. Распределение извитости аксонов в проксимальном отрезке большеберцовой порции пересечённого и сшитого седалищного нерва через 3 недели дистракции бедра. Импрегнация серебром. Об.-6,3х, ок.-15х.

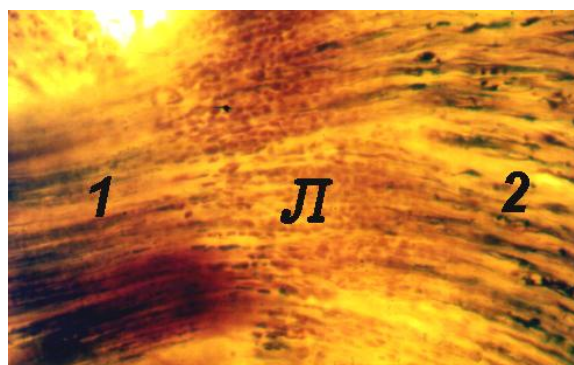


Рис. 3. Продольный срез удлинённого проксимального отрезка седалищного нерва собаки № 5596.

Срок эксперимента 19 дней, тракции 14 дней. Импрегнация по Рассказовой. Об. - 16х, ок. - 15х.

Между зонами реактивно изменённых нервных волокон (1) и ретроградной дегенерации (2) тяжи леммоцитов (Л), не содержащих продуктов распада.

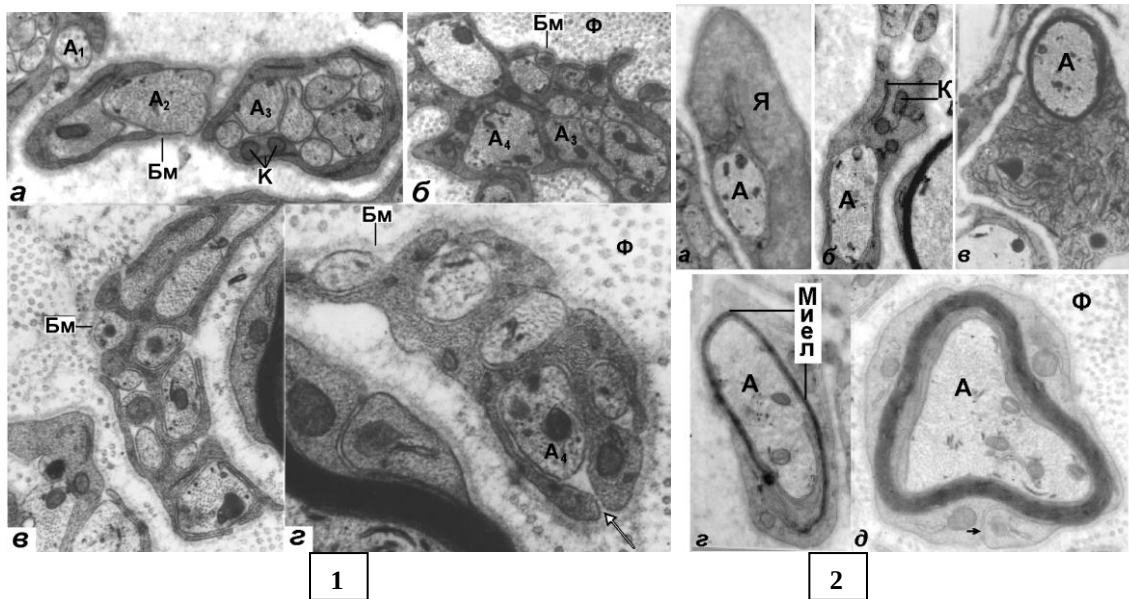


Рис. 4. 1. Дифференцировка регенерирующих нервных волокон в зоне удлинения проксимального отрезка седалищного нерва собаки № 8523. Срок эксперимента 47 дней, 21 день тракции, 21 день фиксации. Электронограммы. Инструментальное увеличение 20000х. а, б - формирование регенерационных кластеров, в, г - формирование безмякотных нервных волокон.

А<sub>1</sub> - аксон, частично окруженный цитоплазматическим выростом леммоцита, А<sub>2</sub> - два аксона окружаются отростками одного леммоцита, А<sub>3</sub> - сформированный регенерационный кластер из нескольких аксонов, окружённых отростками одного леммоцита, А<sub>4</sub> - аксон, имеющий собственный мезаксон (черно-белая стрелка). К - комплекс цистерн эндоплазматического ретикулума (длинные стрелки) с митохондрией (короткая стрелка) в цитоплазме леммоцита. Бм - базальная мембрана леммоцитов. Ф - коллагеновые фибриллы эндоневрия.

2. Формирование мякотных нервных волокон в зоне удлинения проксимального отрезка седалищного нерва собаки № 8523. Срок эксперимента 47 дней, 21 день тракции, 21 день фиксации. Электронограммы. а, б - крупный аксон (А) в собственном мезаксоне в безъядерной части и на уровне ядра (Я) леммоцита; увеличение 20000. в, г, д - формирование мякотной оболочки (МиеЛ.) за счет наслаивания новых витков мезаксона (стрелка) вокруг осевого цилиндра; увеличение: в - 30000, г - 20000, д - 40000. в - гипертрофия биосинтетического аппарата (эндоплазматического ретикулума, митохондрий) в цитоплазме леммоцита в процессе миелинизации. К - митохондриально-эндоплазматический комплекс в цитоплазме леммоцита, Ф - коллагеновые фибриллы эндоневрия.

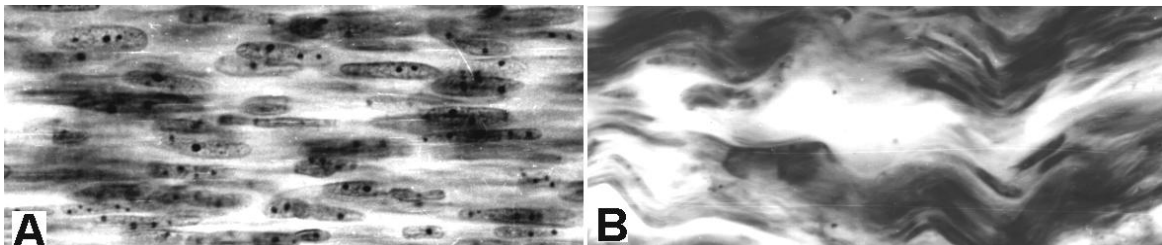


Рис. 5. Дистальный отрезок седалищного нерва собаки № 5549. Срок эксперимента 33 дня, тракции 28. Импрегнация серебром. Об. - 40х, ок. - 15х.

А - зона удлинения: тяжи леммоцитов прямолинейны, продукты валлеровской дегенерации отсутствуют. Б - участок дистальнее зоны удлинения: бюнгнеровы ленты извиты.

**2. Дозированное удлинение отрезков поврежденного нерва тракцией за их концы в продольном направлении.** Прототип этой группы способов – вытяжение (обычно лигатурой) за концевую неврому проксимального отрезка поврежденного нерва применялся в клинике разными авторами, однако широкого распространения не получил, что поставило вопрос о необходимости экспериментального изучения проблемы. Прежде всего, наиболее актуальным представлялся вопрос, осуществимо ли таким способом возмещение сегментарного дефекта и каковы условия регенерации нерва после шва

его удлиненных отрезков. В результате проведенных нами исследований установлено, что дискретное дозированное растяжение поврежденного нерва, осуществляемое внутри организма, вызывает его активную структурную перестройку, которая происходит в зонах максимальной деформации растяжения. Своеобразное строение проксимальной границы зоны ретроградной дегенерации удлиняемого центрального отрезка нерва (рис. 3) убеждает в том, что эта перестройка носит характер интеркаляции. Леммоциты здесь, активно пролиферируя, выстраивались в строго продольно ориентиро-

ванные цепочки, отличаясь от выше и ниже расположенных шванновских клеток отсутствием в цитоплазме продуктов распада аксонов и миелина. Уже с первых недель тракции началась интенсивная невротизация новообразованного участка проксимального отрезка. К 4 - 6 неделям эксперимента в аксон-леммоцитарных регенерационных комплексах выявлялись формирующиеся безмякотные и миелинизирующиеся нервные волокна (рис. 4); признаки вторичной дегенерации отсутствовали.

Характерно, что при всём различии процессов, происходящих в проксимальном и дистальном отрезках нерва после его повреждения (в проксимальном – регенерация, а на всём протяжении дистального – распад утративших связь с центром нервных волокон), дозированная тракция создавала общие моменты в их структурной перестройке. В дистальном отрезке внутри удлиняющихся периневральных влагалищ также формировался участок строго продольно ориентированных тяжёлых леммоцитов (рис. 5), не содержащих продуктов валлеровской дегенерации в отличие от шванновских клеток дистальнее расположенных бунгеровых лент. Повидимому, именно этот процесс предотвращал коллапс эндоневральных трубок и фиброзное перерождение дистального отрезка, обеспечивая оптимальные условия для его сшивания с проксимальным (рис. 6) и последующей невротизации.

В проведённом экспериментальном исследовании доказано, что после одномоментной компенсации эластического сокращения отрезков нерва возможно дальнейшее наращивание их длины путём встречной дозированной тракции суммарно порядка 60% длины сегмента конечности (на 6 см у собак с длиной бедра 10 см). Повидимому, эта величина не является предельной. Большие удлинения являются вопросом времени.

**3. Дозированная боковая тракция нервного ствола.** По данным Всемирной Организации Здравоохранения [4], у 60% пациентов с диагнозом полного перерыва нерва, оперированных в различные сроки после травмы, при ревизии была констатирована анатомическая непрерывность повреждённого нерва, но проводимость отсутствовала, что являлось показанием к резекции внутривольной невромы и восстановительной операции. В таких случаях выполнение качественного шва конец в конец проблематично, так как резекция создаёт сегментарный дефект, являющийся, по общепринятым представлениям, показанием для аутопластики.

Альтернативный подход – боковая тракция анатомически непрерывного нерва (рис. 7), которая осуществляется путём постепенного дозированного перемещения временно имплантированного под нерв опорного элемента. Прототип этого способа – удлинение нерва кожным экспандером используется в качестве модели компрессионно-ишемической нейропатии [12], поэтому первоочередной задачей экспериментальной апробации этого способа создания запаса длины нервного ствола стал поиск режима тракции, не вызывающего развития синдрома сдавления и ишемических повреждений. В 1 серии экспериментов боковую тракцию седалищного нерва в режиме по 0,25 мм 2 раза в день осуществляли после одномоментного растяжения нерва на 5% длины бедра. Через 35 дней эксперимента (21 день тракции, 14 дней фиксации) при гистологическом исследовании самого седалищного нерва дистальнее имплантата, а также берцовых нервов выявлена валлеровская дегенерация (рис. 8А), что несомненно следует рассматривать как морфологическое проявление компрессионно-ишемической нейропатии. Во 2 серии экспериментов имплантат располагали таким образом, чтобы в участке нерва над ним оставались полосы Fontana (видимый под операционным микроскопом оптический феномен, свидетельствующий о сохранении извитости пучков нервных волокон и эндоневрального коллапса в мобилизованном участке нерва). Через 35 дней эксперимента (21 день тракции по 0,25 мм 3 раза в день и 2 недели фиксации) имплантат переместили на то же расстояние, что и в первой серии, однако в берцовых нервах реактивно-дегенеративных изменений не выявлено (рис. 8Б). В 14 экспериментах со сроками удлинения более 14 дней по окончании тракции резецировали участок нерва, равный удвоенной величине тракционного перемещения. В 13 случаях диастаз оказался меньшим, чем резецированный участок; а в одном случае (тракция 14 дней по 0,25 мм 3 раза, фиксация 14 дней) после резекции 2 см нерва отсутствовал совсем, что вполне доказывает возможность получения таким способом значимого для пластических целей запаса длины. В то же время оптимальный режим боковой тракции, позволяющий получить наибольшее удлинение нерва за максимально короткий срок, неизвестен. Своеобразные картины переориентации микроциркуляторного русла в зонах удлинения нерва при боковой тракции (рис. 8 В и Г) ставят вопрос о необходимости прицельных физиологических исследований капиллярного кровотока в этих условиях.

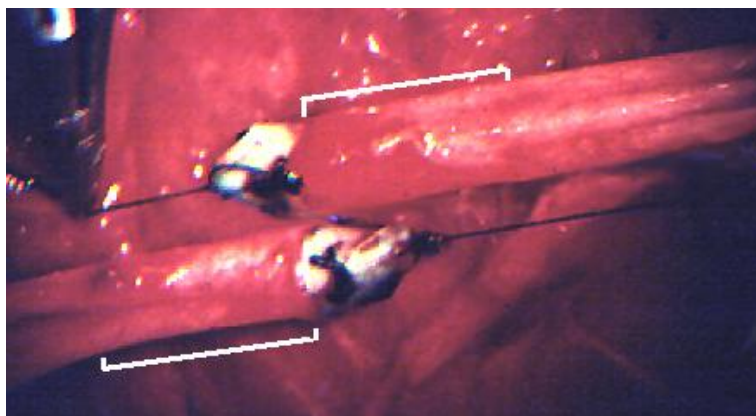


Рис. 6. Собака № 1204. Сближение концов седалищного нерва после резекции 30% длины осуществлено постепенной дозированной встречной тракцией в течение 28 дней. Выращенные участки длиной по 1,5 см (обозначены скобками) сопоставимы по диаметру, хотя отрезки нерва в результате резекции имеют различную пучковую структуру. Операционный микроскоп, увеличение 8х.

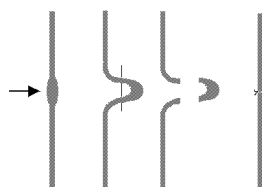


Рис. 7. Схема боковой тракции с последующей резекцией патологически изменённого участка и восстановлением анатомической непрерывности нерва швом конец в конец за счёт полученного запаса длины

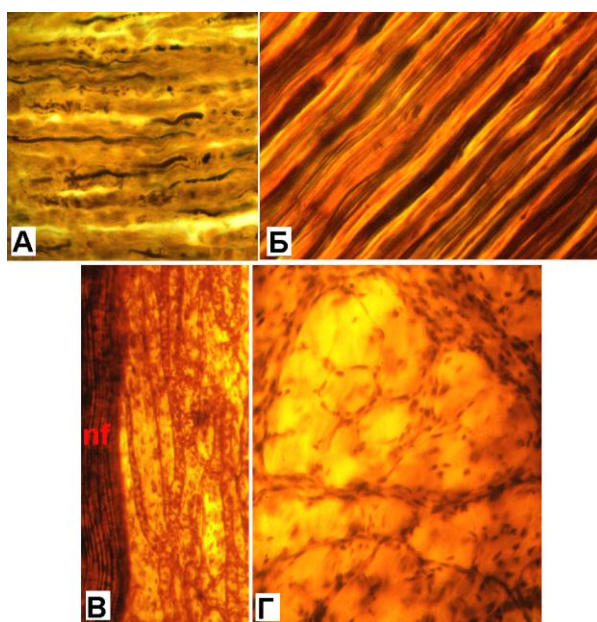


Рис. 8. Реакция нервов на дозированное растяжение в поперечном направлении. Продольные замороженные срезы. Импрегнация серебром по Рассказовой.  
**А** - валлеровская дегенерация нервных волокон большеберцового нерва собаки № 0353 при боковой тракции седалищного нерва (эксперимент первой серии - объяснение в тексте). Об.- 40х, ок.- 15х.  
**Б** - неизменённые нервные волокна в большеберцовом нерве после удлинения седалищного нерва боковой тракцией на 30% длины бедра (собака №0341). Об.- 40х, ок.- 15х.  
 Эпиневррий правого седалищного нерва: **В** - в зоне удлинения - продольная ориентация петель капиллярной сети микроциркуляторного русла. Об.- 16х, ок.- 10х. **Г** - над опорным элементом – капиллярная сеть с петлями типичной для интактного нерва полигональной формы. Об.- 20х, ок.- 15х.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ результатов применения в экспериментальных условиях стандартных методик (первичная нейрорафия, аутонейропластика) и разработанных нами способов восстановления нервов при анатомических перерывах, в частности, шва удлиненных концевой тракцией отрезков поврежденного нерва показал, что после аутонейропластики двухсантиметрового дефекта седалищного нерва денервационные проявления были выражены даже через год, тогда как после первичной нейрорафии и

шва удлиненных отрезков они практически полностью компенсируются уже к 9 месяцам наблюдения.

Если при этом учесть, что в клинических условиях аутонейропластика не дает эффекта у 1/3 пациентов с дефектами нервов до 5 см и у 2/3 – при величине дефектов от 5 до 10 см [2], есть основания рассматривать разработанные нами методики компенсации дефектов нервных стволов в качестве жизнеспособной альтернативы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Современные представления о патогенезе, диагностике и лечении травматических поражений нервных стволов конечностей (обзор) / Г.А. Акимов, М.М. Одинак, С.А. Живолупов и др. // Ж. невропатологии и психиатрии им. С.С.Корсакова. - 1989. - Т.89, вып.5. - С.126-132.
2. Микрохирургические реконструктивно-восстановительные операции при травматических повреждениях периферических нервов / М. А. Алиев, К.К. Ахметов, В.И. Ченцов, О.В. Горгоц // Вопр. нейрохирург. им. Н.Н.Бурденко. - 1989. - №6. - С.15-16.
3. Белоусов А.Е., Ткаченко С.С. Микрохирургия в травматологии и ортопедии. - Л.: Медицина, 1988. - 224 с.
4. Берснев В.П. Диагностика и хирургическое лечение повреждений нервов конечностей: Дис... д-ра мед. наук. - Л., 1986. - 471 с.
5. Волкова А.М. Восстановительная хирургия кисти при сочетанных повреждениях сухожилий и нервов: Автореф. дис ... д-ра мед.наук. - М., 1978. - 40 с.
6. Григорович К.А. Хирургическое лечение повреждений нервов. - Л.: Медицина, 1981. - 302 с.
7. Гришин И.Г. Микрохирургия в травматологии и ортопедии: достижения, нерешенные вопросы и перспективы // Анналы травматологии и ортопедии. - 1993. - N1. - С.23-28.
8. Дольницкий О.В., Дольницкий Ю.О. Атлас микрохирургических операций на нервах. Практическое руководство. - Киев: Выща школа, 1991. - 182 с.
9. Хирургическое лечение методом Илизарова сочетанных повреждений лучевого нерва и плечевой кости / Г.А. Илизаров, М.М. Щудло, Н.Х. Саматов, В.Е. Крылов // Метод Илизарова: теория, эксперимент, клиника: Тез. докл. Всесоюз. конф., посвящ. 70-летию Г.А.Илизарова. - Курган, 1991.- С.374-376.
10. Лечение повреждений периферических нервов методом Илизарова / В.Е.Крылов, Е.К.Валеев, М.М.Щудло и др.// Клиника и эксперимент в травматологии и ортопедии: Тез. докл. юбил. науч. конф. Научно-исследовательского центра Татарстана «Восстановительная травматология и ортопедия» АН Татарстана. - Казань, 1994. - С.141-142.
11. Щудло М.М., Щудло Н.А. Функциональная морфология оболочек нервных стволов конечностей - основа для рационализации техники нервного шва // Актуальные вопросы биологии опорно-двигательного аппарата: Материалы 8 школы стран СНГ. - Киев, 1996. - С.112-113.
12. Effects of stretching the sciatic nerve of the rat: functional and morphological analysis / H.Hirata et al. // J. Jpn. Orthop. Assoc. - 1992. - Vol. 66, N 8. - P. 1990.
13. Lundborg G. Nerve regeneration and repair. A review // Acta Orthop. Scand. - 1987. - Vol. 58. - P. 145-169.
14. Seddon H.J. Surgical disorders of the peripheral nerves. - New York: Churchill-Livingstone, 1975. - 336 p.
15. Smith J.W. Peripheral nerve surgery - retrospective and contemporary techniques // Clin. Plast. Surg. - 1986. - Vol. 13, N 2. - P. 249-254.
16. Yoshimoto H. An experimental study of peripheral nerve elongation in limb lengthening // J. Jpn. Orthop. Assoc. - 1992. - Vol. 66, N 8. - P. 1462-1464.

Рукопись поступила 25.11.98.